

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma / rakennustuotanto

Juha Valjakka

Betoni lattian jälkihoito

Opinnäytetyö 2015

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikan koulutusohjelma

VALJAKKA, JUHA

Betoni lattian jälkihoito

Opinnäytetyö

26 sivua + 3 liitesivua

Työn ohjaaja

Tuomo Kovanen, Lujabetoni Oy

lehtori Sirpa Laakso

Toimeksiantaja

Lujabetoni Oy

Huhtikuu 2015

Avainsanat

betoni, kuivabetoni, jälkihoito, jälkihoitoaineet

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan jälkihoitoaineiden vaikutusta betonin kuivumiseen. Tarkoituksena on tutkia, millä tavoin jälkihoitoaineet vaikuttavat veden haihtumiseen betonista ja verrata vedenhaihtumista betonilattiasta ilman jälkihoitoa ja jälkihoito muovin kera. Betonin jälkihoidossa on kaksi eri vaihetta, jotka ovat varhaisjälkihoito ja varsinainen jälkihoito. Tässä tutkimuksessa keskityttiin varsinaisen jälkihoidon menetelmiin suojaamalla betoni muovilla sekä jälkihoitoaineilla.

Tutkimuksessa koekappaleet tehtiin Kymenlaakson ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriossa: tutkimuksessa käytettiin kuivabetonia. Koekappaleista kahtatoista(12) säilytettiin laboratorio-olosuhteissa ja kahtatoista(12) olosuhdekaapissa, jolloin kuivumista verrattiin kahden eri olosuhteen välillä. Veden haihtumista betonista seurattiin punnitsemalla koekappaleet tutkimussuunnitelman mukaisesti. Tutkimuksessa käytettiin seitsemää eri jälkihoitoainetta. Yhdet kappaleet jätettiin kokonaan ilman jälkihoitoa ja kahdet kappaleet suojattiin tiiviillä muovikalvolla. Tutkimuksen kesto tässä opinnäytetyössä oli valun jälkeiset 45 vuorokautta.

Tutkimuksen tuloksena voidaan päätellä, että jälkihoitoaineiden välillä on toimivuuden suhteen isoja eroja, johon vaikuttavat mm. olosuhteet, levitetty ainemäärä, ilman kosteus, betonin lujuusluokka, betonin vesipitoisuus ja rakenteen paksuus.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Construction Engineering

VALJAKKA, JUHA

Bachelor's Thesis

Supervisor

Commissioned by

April 2015

Keywords

Concrete Floor Curing

26 pages + 3 pages of appendices

Sirpa Laakso, Senior Lecturer

Tuomo Kovanen, Lujabetoni Oy

Lujabetoni Oy

concrete, curing, curing agents

This thesis examines the impact of the concrete curing agents in dehydration. The purpose was to explore ways in which the after-care affects the evaporation of water from concrete and prevents evaporation. Another aim was to compare the evaporation of water from the concrete floor without concrete curing and curing with after-care plastic. In concrete curing there are two different phases which are early concrete curing and the actual concrete curing, of which this study focused on the latter.

Concrete test specimens were made in the construction laboratory of Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. The specimens were 12 large boxes and 12 small boxes. Small specimens were stored in a weather condition cabinet. The samples were examined by using the weighing, and the weight loss was monitored throughout the study period. The duration of study (in this thesis) was the first 45 days after casting.

As a result of this study it can be seen that different curing agents have a remarkable differences in their impact on concrete curing. These differences derived from the amount of curing agent, circumstances, humidity, concrete strength class, water content and thickness of the structure.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	5
2	BETONIN JÄLKIHOITO	5
2.1	Betonilattian jälkihoito	6
2.2	Jälkihoitomenetelmät	8
2.2.1	Kastelu vedellä	9
2.2.2	Peittäminen muovikalvolla	9
2.2.3	Jälkihoitoaineet	10
2.3	Betonilattian suositeltavat jälkihoitomenetelmät	12
2.4	Puutteellisen jälkihoidon seuraukset	13
3	TUTKIMUSSUUNNITELMA	14
3.1	Tutkimus	14
3.2	Tutkimuksen jälkihoitoaineet	14
3.3	Aikataulu	16
3.4	Koekappaleet	16
3.5	Olosuhteet	17
3.6	Testausmenetelmät ja tutkimuksen suoritus	18
4	TULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI	19
5	POHDINTA	24
	LÄHTEET	26
	LIITTEET	
	Liite 1. Mittaustulokset	
	Liite 2. Kuivumiset (g)	
	Liite 3. Kuivumiset (kg/m ²)	

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä on tutkittu jälkihoitoaineiden vaikutusta veden haihtumiseen betonilattiasta. Toimeksiantajana oli Lujabetoni Oy. Lujabetoni yhteistyössä jälkihoitoaineiden maahantuojien kanssa oli sopinut eri jälkihoitoaineiden tutkimuksesta, jossa selvitetään miten kukin jälkihoitoaine vähentää veden haihtumista betonista.

Työn alussa valettiin koekappaleet ja tehtiin kappaleille ennalta suunnitellut jälkihoitotoimenpiteet, minkä jälkeen veden haihtumista seurattiin punnitsemalla kappaleet suunnitelman mukaisesti. Yhdet koekappaleet jätettiin ilman jälkihoitoa, jotta saatiin helposti verrattua aineiden toimivuutta. Tutkimuksen edetessä perehdyttiin syvemmin betonin jälkihoitoon teorian näkökulmasta. Materiaalina käytettiin betonialan sekä jälkihoitoaineiden kirjallisuutta. Opinnäytetyön loppuosassa on tarkasteltu tuloksia ja niiden pohjalta on tehty johtopäätöksiä jälkihoitoaineiden toimivuudesta.

Opinnäytetyön tavoitteena on saada selville, miten jälkihoitoaine vaikuttaa veden haihtumiseen betonista. Tutkimustyö tehtiin Kymenlaakson ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriossa. Työssä tutkittiin jälkihoitoaineiden vaikutusta koekappaleisiin 45 vuorokauden ajan.

Työssäni vertailin seitsemän eri jälkihoitoaineen ja muovikalvon vaikutusta betonin lopputulokseen. Koekappaleita tehtiin kaikkia kaksi sarjaa, 35 x 55 x 70 mm:n ja 10,5 x 22,5 x 65 mm:n koekappaleet. Kooltaan pienemmät (10,5 x 22,5 x 65 mm) tehtiin siksi, että ne mahtuivat olosuhdekaappiin. Yhteensä koekappaleita tehtiin 24 kappaletta. 10,5 x 22,5 x 65 mm:n koekappaleet sijoitettiin olosuhdekaappiin jossa ilman suhteellinen kosteus oli 60 % ja toiset koekappaleet olivat laboratorio-olosuhteissa, jossa suhteellinen kosteus on n. 30 % (± 5). Olosuhdekaapin olosuhteet ovat betonille tehtävien tutkimuksien tavanomainen olosuhde.

2 BETONIN JÄLKIHOITO

Valettu betoni on jälkihoidettava mikä tarkoittaa betonin pitämistä kosteana ja suojattuna, koska betonin kuivuminen ja varsinkin liian nopea kuivuminen kasvattaa kutistumahalkeiluriskiä. Kutistuma on betonin luonnollinen ominaisuus, joka liittyy kuivumiseen sekä sementin reaktioihin. Kutistuman pääasiallinen syy on kuivuminen. Veden poistuminen pienentää betonin tilavuutta, mikä johtaa aina kutistumaan. Kutis-

tumista ei pystytä poistamaan kokonaan, mutta sitä voidaan vähentää merkittävästi jälkihoidon avulla. (Leivo 2000.)

Betonin kutistuminen on lähes riippumaton jälkihoitoajan pituudesta. Kun jälkihoito lopetetaan, niin tapahtuu kuivumiskutistuminen eli betoni kutistuu veden haihtumisen seurauksena. Kuitenkin mitä pitempään esimerkiksi laattarakenteita jälkihoidetaan sitä paremmin ne tulevat kestäämään kutistuman aiheuttamat jännitykset. Betoni on lujempaa kestäämään kuivumisesta aiheutuvat jännitykset, koska haihtuminen alkaa jälkihoidon ansiosta myöhemmin. (Betoni.com 2015.)

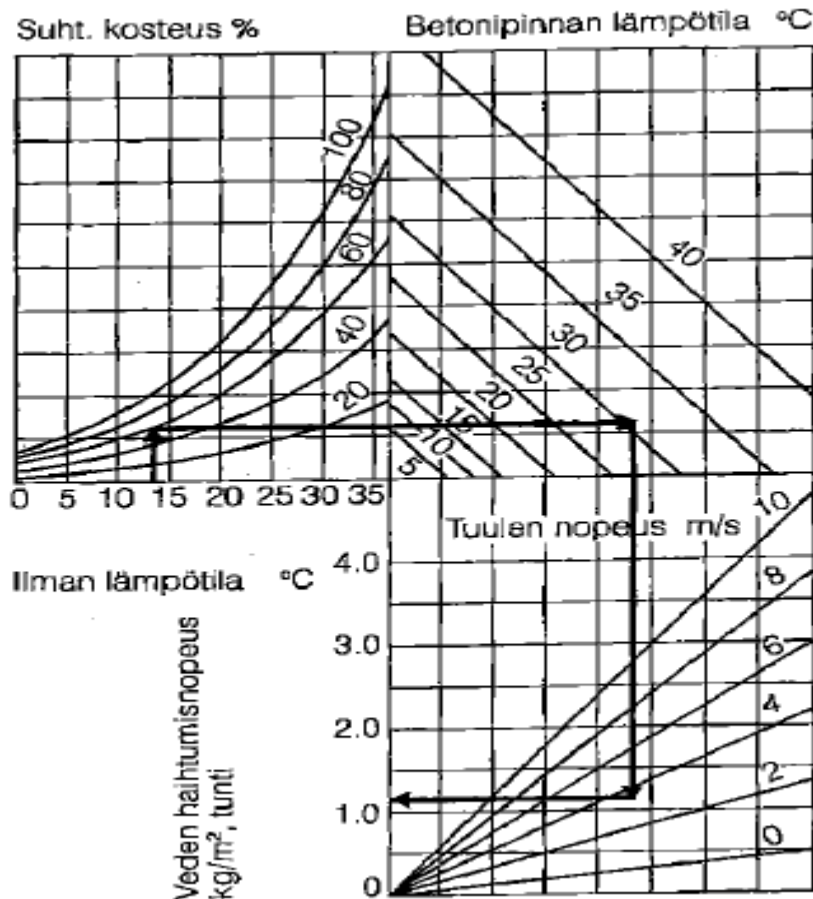
Jälkihoidon toimenpiteet riippuvat kohteesta eli betonirakenteen koosta ja betonilaidusta sekä ympäröivistä olosuhteista kuten lämpötila, ilmankosteus, ilman vaihtuvuus ja niin edelleen. Jälkihoito tulee aloittaa välittömästi betonoinnin jälkeen, jotta mahdolliset plastiset ja myöhemmät kuivumiskutistuman aiheuttamat halkeilut saataisi minimoitua. Plastinen kutistuma on betonin kutistumaa, joka tapahtuu vaakatasossa ja johtuu veden haihtumisesta muutaman tunnin sisällä valusta. Jälkihoitoaika on yleensä kolme vuorokautta, mutta pakkas-, kulutus- tai kemiallisten räsitusten alaiseksi joutuvilla rakenteilla sen tulee olla minimissään seitsemän vuorokautta. Vasten muottia olevissa pinnoissa kosteus säilyy itsestään, mutta avoimena olevat yläpinnat on kasteltava valua seuraavina päivinä. (Betoni.com 2015.)

Betonipinnan jatkuvalla kastelulla voidaan taata varmimmin betonin kovettumisen vaatima kosteus. Talviolosuhteissa kastelua ei voida käyttää, koska viileä vesi jäähdyttää betonipintaa, jolloin voi syntyä halkeilua aiheuttavia lämpötilaeroja. Jos betonoinnissa on käytetty nopeammin kuivuvaa betonia ja tavoitteena on betonipinnan aikainen pinnoittaminen, niin tällöin vesihoitoa ei luonnollisestikaan kannata käyttää jälkihoitona. (Betoni.com 2015.)

2.1 Betonilattian jälkihoito

Betonilattian jälkihoidon ensisijaisena tarkoituksena on estää betonipinnan liian nopea kuivuminen. Jälkihoidon avulla estetään myös suurien lämpötilaerojen muodostumista kovettumisvaiheessa. Suurimmat kovettumislämpötilaerot syntyvät varsinkin paksumpien laattarakenteiden ydinosan ja yläpinnan välille. Talviaikaan valetun betonin jälkihoidolla estetään rakenteen nopea jäähtyminen tai jäätyminen. Lisäksi jälkihoidolla suojataan betonipintaa varhaisen vaiheen rasituksilta, kolhuilta ja

likaantumiselta. Jälkihoito tulee aina suunnitella ja toteuttaa tapauskohtaisesti, koska esimerkiksi veden haihtumisen nopeuteen vaikuttavat ilman lämpötila, ilman suhteellinen kosteus, betonipinnan lämpötila sekä tuulen nopeus, kuten kuva 1 osoittaa.



Kuva 1. Veden haihtumisnopeus (Betonilattiat 2002, 116.)

Betonilattian oikealla ja huolellisella jälkihoidolla vaikutetaan myönteisesti mm. seuraaviin tekijöihin:

- Pinnan lujuus ja kulutuskestävyys
- Pinnan tiiviys
- Pinnan vähäinen pölyävyys
- Pintalattian tarttuvuus alustaan
- Päällystettävyys
- Halkeiluriski (Betonilattiat 2002, 155)

2.2 Jälkihoitomenetelmät

Jälkihoitomenetelmiä on useita erilaisia, joilla on omat erikoispiirteensä ja soveltuvuusalueensa. Jälkihoitomenetelmän valintaan vaikuttavat jälkihoidolle asetetut tavoitteet, betonointiolosuhteet, käytettävät työmenetelmät, betonin ominaisuudet, lattioiden pinnoitettavuus ja päällystettävyyys sekä pinnan laatuvaatimukset. Jälkihoidon menetelmät voidaan jakaa suoritusajankohdan mukaan varhaisjälkihoitoon, mikä tapahtuu betonointipinnan oikaisun yhteydessä, sekä perinteisesti suoritettuun hiertojen jälkeiseen jälkihoitoon. (Suomen Betonilattiayhdistys ry 2002.)

Varhaisjälkihoito

Varhaisjälkihoidolla tarkoitetaan heti betonoinnin tasauksen ja tiivistämisen jälkeen tehtyä jälkihoitoa, joka tehdään pinnan hierron aikana tai jo sitä ennen; varhaisjälkihoidolla estetään plastiset halkeamat. Erityisesti silloin varhaisjälkihoidon merkitys korostuu, kun valutilan ilman virtanopeus on suuri, suhteellinen kosteuspitoisuus on alhainen ja kun ilman lämpötila tai betonipinnan lämpötila ovat korkeita. Varhaisjälkihoitoa on tehtävä myös, jos käytetään voimakkaasti notkistettuja, tehonotkistettuja, säänkestäviä sekä korkealujuuksisia betonilaatuja. Varhaisjälkihoidon tarpeellisuuden raja-arvona pidetään veden haihtumisnopeutta joka on $1 \text{ kg/m}^2/\text{h}$. Kuvan 1 perusteella pystytään arvioimaan veden haihtumisnopeutta eri olosuhteissa. (Betonilattiat 2002, 167,157.)

Varhaisjälkihoito toteutetaan sumuttamalla betonipinnalle riittävä määrä varhaisjälkihoitoainetta tai pitämällä pinta kosteana vesisumuttamalla. Vettä ei tule sumuttaa kuitenkaan niin paljon, että pinnalle syntyisi lammikoita, jotka saattavat huuhtoa sementtipastan betonin pinnasta ja täten heikentää betonin laatua kasvattamalla laatan pinnassa olevaa vesisementtisuhdetta. Varhaisjälkihoito voidaan myös toteuttaa levittämälle pinnalle väliaikaisesti muovikelmu ennen pinnan hiertoa. (Betonilattiat 2002, 167, 157.)

Varsinainen jälkihoito

Varsinainen jälkihoito tulee aloittaa välittömästi betonipinnan hierron jälkeen. Varsinaisia jälkihoitomenetelmiä ovat laatan kastelu, laatan peittäminen ja jälkihoitoaineiden käyttäminen sekä tilan kostuttaminen on mahdollinen menetelmä. Menetelmät valitaan kohteen vaatimusten sekä olosuhteiden mukaisesti.

2.2.1 Kastelu vedellä

Betonipinnan jatkuva kastelu on paras tapa saavuttaa betonin kovettumisen vaatima kosteus, jolla tarkoitetaan sitä, että betonin kosteus pysyy sopivana kovettumisreaktion aikana ja lujuus voi kehittyä. Plastisten kutistumahalkeamien estämiseen sitä ei voida käyttää, koska kastelu (sumuttaminen) pystytään aloittamaan vasta, kun vesi ei huuhto enää sementtiä ja hienoainesta irti betonipinnasta. Menetelmän huonoja puolia ovat sen vaatima suuri työmäärä, soveltumattomuus talviolosuhteisiin sekä pinnan heikon kerroksen muodostuminen. Viileä vesi jäähdyttää betonin pintaa ja voi näin synnyttää halkeilua aiheutuvia lämpötilaeroja. (Lujabetoni 2015.)

2.2.2 Peittäminen muovikalvolla

Huolellisesti suoritettu betonipinnan peittäminen (kuva 2) on hyvä jälkihoitomenetelmä. Betonin pintaa ei tarvitse kastella lisää, koska betonista haihtuva kosteus tiivistyy muovin sisäpinnalle, kunhan peittäminen on tehty mahdollisimman nopeasti valun jälkeen ja muovipeiton saumat on teipattu tiiviisti tai ilmavirran pääseminen muovin alle on muilla keinoin estetty.



Kuva 2. Vesi tiivistyy muovin sisäpintaan (Juha Valjakka, 2014).

Peittämisen menetelmä estää plastisten kutistumahalkeamien muodostumisen jos peittäminen tehdään heti valun päätyttyä tai jo sen edetessä. Usein betonipinnalle asetetut työstövaatimukset mahdollistavat pinnan peittämisen vasta myöhemmissä vaiheissa, jolloin plastisen vaiheen aiheuttamat halkeamat ovat ehtineet jo syntyä. Tällöin jälkihoito aloittaa käyttämällä niin sanottua varhaisjälkihoitoainetta.

Muovikalvolla peittämisen etuna on suojata tuore betonin pinta sateelta. Kun betonipinnalle ei lisäksi kerry vesikerrosta, niin sitoutuminen hiertovaiheeseen tapahtuu nopeammin. Tuuliset olosuhteet esimerkiksi holvivalujen yhteydessä hankaloittavat merkittävästi menetelmän käyttöä, kuten myös runsas jatkoerästen ja läpivientien määrä. (Lujabetoni 2015.)

2.2.3 Jälkihoitoaineet

Nestemäisten ruiskutettavien jälkihoitoaineiden tarkoituksena on muodostaa betonin pintaan kalvo, jonka läpi vesi ei pääse haihtumaan. Jälkihoitoainetta on siis levitettävä riittävästi, jotta pinnalle syntyvä kalvo on yhtenäinen. Jälkihoitoaineiden käyttö on tehokas jälkihoitomenetelmä, joka mahdollistaa jälkihoidon myös plastisen kutistuma-

halkeilun kannalta riittävän aikaisessa vaiheessa. Varhaisjälkihoitoaineita käyttäen betonin jälkihoito pystytään aloittamaan jo betonin tiivistämisen yhteydessä ja jatkamaan sitä heti pinnan hierron jälkeen varsinaisilla jälkihoitoaineilla. (Lujabetoni 2015.)



Kuva 3. Jälkihoitoaineen levitys ruiskulla (Lujabetonin kuva)

Jälkihoitoaineiden toimivuudessa on käytännön kokeissa, kuten tässä opinnäytetyössä tehdyssä kokeessa, havaittu suuriakin eroja toimivuuden suhteen, mihin vaikuttavat levitetty ainemäärä sekä olosuhteet, joilla tarkoitetaan eri vuoden aikojen olosuhteita. Betoninjälkihoitoa suunniteltaessa on syytä varmistaa valmistajalta tai tuotteen myyjältä käytettävän tuotteen ominaisuudet. Välittömästi valun jälkeisen kosteuden haihtumisen estävän ruiskutettavan jälkihoitoaineen lisäksi voidaan jälkihoidon onnistuminen varmistaa muovipeitolla tai telata betonin pintaan tehokkaat jälkihoitoaineet. (Lujabetoni 2015.)

Jälkihoitoaineiden tuotetiedoissa on kerrottu suositeltavat ruiskutusmäärät $[\text{ml}(\text{g})/\text{m}^2]$, jotka tasaisesti ruiskutettuna muodostavat veden haihtumista estävän kalvon betonin pintaan. Jälkihoitoaineita käyttäessä on tärkeää varmistaa myös se, onko aine itsestään haihtuvaa vai joudutaanko se mekaanisesti poistamaan, jotta varmistetaan pintamateriaalien tartunta. Osa jälkihoitoaineista haihtuu itsestään 4 – 6 viikossa, mutta tarvittaessa se voidaan poistaa harjaamalla niitä tätäkin ennen. Useimmiten jälkihoitoaineet ovat värittömiä, jolloin jälkikäsittelymättömissä pinnoissa voidaan myös käyttää aineita, jotka eivät ole itsestään haihtuvia. (Lujabetoni 2015.)



Kuva 4. Jälkihoitoaineet muodostavat kalvon betonipinnalle (Juha Valjakka, 2014).

2.3 Betonilattian suositeltavat jälkihoitomenetelmät

Pinnoitettavissa lattioissa Suomen betoniyhdistys suosittelee jälkihoitomenetelmäksi olosuhteiden mukaan varhaisjälkihoitoa sumutettavalla jälkihoitoaineella. Varsinainen jälkihoito suoritetaan sumutettavalla jälkihoitoaineella viimeisen hierron yhteydessä. Sumutettu aine tulee poistaa pinnalta jälkihoitoajan päätyttyä joko voimakkaalla harjauksella, hionnalla tai sinkopuhdistuksella pinnoitteen ja jälkihoitoaineen tuoteohjeen mukaisesti.

Kulurasitetuissa lattioissa menetelmäksi Suomen betoniyhdistys suosittelee varhaisjälkihoitoa ja varsinaista jälkihoitoa, kuten pinnoitettavissakin lattioissa, mutta lisäksi seuraavana aamuna betonipinnan kastelu ja suojaus muovilla tai suojapeitteellä. (Betonilattiat 2014, 171.)

Jälkihoitoaika

Jälkihoitoaika riippuu eri tekijöistä, jotka ovat muun muassa kovettumisolosuhteet, betonilaatan räsitusluokka sekä betonin kovettumisnopeus. Räsitusluokissa X0 ja XC1 jälkihoito voidaan lopettaa, kun betoni on saavuttanut 60 % sen nimellislujuudesta ja kaikissa muissa räsitusluokissa 70 % paitsi XF2- ja XF4- räsitusluokissa. Rakenteissa, jotka kuuluvat luokkiin XF2 ja XF4, tai joilta edellytetään erityistä kulutuskestävyyttä, tulee jälkihoitoa suorittaa niin kauan, että betoni saavuttaa 80 % nimellislujuudesta.

Jälkihoidon jälkeen on huolehdittava siitä, että poikkileikkauksessa lämpötilaerot eivät tule haitallisen suureksi, varsinkin talviolosuhteissa betonointia tehdessä. Kulutusrasitettujen lattioiden jälkihoitoa tulee jatkaa aurinkoisissa tai viimaisissa sekä alle RH 50 %:n olosuhteissa vähintään 2 viikkoa ja pinnoitettavien lattioiden vähintään 7 vuorokautta. Taulukossa 1 on esitetty jälkihoidon suositeltavat vähimmäisajat eri kovettumisolosuhteissa normaalisti kovettuvalla betonilla. (Betonilattiat 2014, 170,171.)

Taulukko 1. Jälkihoidon suositeltavat vähimmäisajat eri kovettumisolosuhteissa normaalisti kovettuvalle betonille. (Betonilattiat 2014, 171.)

Betonin lämpötila [°C]	Aika [d], jolloin saavutetaan 60 % nimellislujuudesta			Aika [d], jolloin saavutetaan 70 % nimellislujuudesta			Aika [d], jolloin saavutetaan 80 % nimellislujuudesta		
	K30	K40	K50	K30	K40	K50	K30	K40	K50
10	11	9	7	17	15	13	26	24	22
20	6	4,5	4	9	7,5	6,5	14	12	12
30	3,5	3	2,5	5,5	4,5	4	8	7,5	7
40	2,5	2	1,5	3,5	3	3	5,5	5	5

2.4 Puutteellisen jälkihoidon seuraukset

Jos betonin jälkihoito on puutteellista, saattaa muuten erinomaisesti toteutettu työ epäonnistua eivätkä lattialle asetetut vaatimukset täyty. Varhaisjälkihoidon laiminlyönnin seurauksena betonin pinta kuivuu voimakkaasti ja siitä aiheutuu betonin plastista kutistumista, joka aiheuttaa pinnan halkeilua. Halkeilu voi olla verkkomaista tai yksittäistä. Harvassa olevat halkeamat ovat suurempia kuin tiheämpi verkkomainen halkeilu. Plastiset kutistumahalkeamat peittyvät ja menevät umpeen pinnan hierron myötä, mutta ne tulevat uudelleen näkyviin kuivumiskutistuman kehittyessä tai myöhemmin pinnalle suoritettavan hionnan seurauksena. (Anttila 2010, 2.)

Jälkihoidon laiminlyönnistä on lisäksi seuraavia seurauksia:

- Betonipinta on heikkolujuuksinen.
- Betonipinta on huonosti kulutusta kestävä.
- Betonipinta on harva.
- Betonipinta on voimakkaasti pölyävä.
- Betoni on halkeillut.
- Pintalattioiden irtoamisriski alustastaan kasvaa.

- Betonin pakkasenkestävyys heikkenee.
(Betonilattiat 2002, 160.)

3 TUTKIMUSSUUNNITELMA

3.1 Tutkimus

Betonilattian jälkihoitotutkimus oli tehty Lujabetoni Oy:n tilauksesta Kymenlaakson ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriossa. Tutkimuksessa käytettyjä koekappaleita säilytettiin olosuhdekaapissa ja laboratorion olosuhteissa, jotta saatiin ilman suhteellisen kosteuden vaikutukset betonin kuivumiseen tutkittua. Olosuhdekaapin olosuhde on tavanomainen betonille tehtäville tutkimuksille, joten sillä ei haeta vertausta eri vuodenaikana olevaan sääolosuhteeseen.

Koekappaleet valoi Lujabetoni Oy Kymenlaakson ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriossa 3.11.2014. Viimeisen kerran koekappaleita tutkittiin kappaleiden ollessa 45 vuorokauden ikäisiä. Tutkittuja jälkihoitoaineita oli 7 kpl.

Jälkihoitoaineet ruiskutettiin koekappaleisiin käsiruiskulla varovasti, jotta koekappaleiden pinnoille ei tulisi liikaa ainetta. Jälkihoitoaineiden tuotetiedoissa oli suositeltavaruiskutusmäärä g/m^2 ja jokaisessa koekappaleessa päästiin siihen tai vähän sen yli. Käsiruisku pestiin jälkihoitoainetta vaihdettaessa, jolla estettiin se, että jälkihoitoaineet eivät sekoitu keskenään.

Tutkimuksessa yksi koekappalepari jätettiin ilman jälkihoitoa ja kahden parin jälkihoito tapahtui muovikalvoin. Tutkimuksessa käytetyt jälkihoitoaineet olivat Masterkure 112, Masterkure 111WB, Masterkure 216WB, Masterkure 220WB, Schönox KH, Antisol-E sekä Mapeicure 1.

3.2 Tutkimuksen jälkihoitoaineet

Masterkure 112 on parafiinipohjainen, nestemäinen ruiskutettava, kalvon tekevä betonin jälkihoitoaine. Tuotetta levitetään tuoreelle betonipinnalle estämään betonissa olevan veden liian nopea haihtuminen. Sitä käytetään jälkihoitoaineena vaaka- sekä pystypinnoilla. Se voidaan levittää sellaisenaan tai laimentaa veteen 1:1 - 4 olosuhteista riippuen.(basf.fi, Masterkure 112)

Masterkure 111WB on kosteuden haihtumista hidastava betonin viimeistelyaine, joka antaa korkealaatuiseen viimeistellyn betonipinnan. Se hidastaa veden haihtumista, säätelee laatan pinnan tilaa ja mahdollistaa paremman tarttuvuuden viimeistelytoimenpiteille. Koska Masterkure 111WB hidastaa veden haihtumista, se on erityisen tehokas nopeita kuivumisolosuhteita vastaan (korkeat betonin ja/tai ympäristön lämpötilat, alhainen kosteus, kova tuuli, suora auringonpaiste, työ lämmitetyissä sisätiloissa kylmän sään aikana, ja niin edelleen.) (basf-cc.fi, MASTERTOP C711)

Masterkure 220WB on hajoamaton, kalvon muodostava, nestemäinen polymeeridispersio, joka soveltuu ruiskutettavaksi vasta muotista puretulle ja tuoreelle betonille. Syntyvä kalvo pidättää betonissa riittävästi kosteutta, mikä varmistaa sementin täydellisen hydrataation. Tämä on ensiarvoisen tärkeää betonin lujuuden kehittymiselle. Jälkihoidettu betoni on tyypillisesti kovempaa, sen pinta on pölyämätön, ja siinä on vähemmän kuivumiskutistumahalkeamia. Ruiskutettuna lattioille MasterKure 220WB sulkee pinnan ja tekee siitä pölyämättömän, mikä poistaa kulumisen päälähteen ja parantaa kestävyyttä. (basf.fi, MasterKure 220 WB)

MasterKure 216 WB on parafiinipohjainen jälkihoitoaine, jolla on suuri vedenpidätyskyky estämään tuoreen betonin kuivumista. 216 WB muodostaa betonin pinnalle suojaavan kalvon, joka estää veden haihtumisen kriittisen sitoutumisvaiheen aikana. Aineen tekemä kalvo pidättää sementissä riittävästi vettä, jolla varmistetaan sementin täydellinen hydrataatio. Tämä on välttämätöntä optimaalisen lujuuden kehityksen varmistamiseksi. Jälkihoidettu betoni on tyypillisesti kovempaa, sen pinta on pölytön ja siinä on vähän kuivumiskutistumahalkeamia. (basf.fi, MasterKure 216 WB)

Schönox KH on vesipohjainen pohjuste lattioille ja seiniin. Voidaan käyttää sisä- ja ulkotiloissa alustan imukyvyn pienentämiseen, tartunnan lisäämiseksi tai lisäaineena tartuntakerroksissa. Se soveltuu käytettäväksi ainoastaan imukykyisillä alustoilla. Sitä voidaan käyttää myös lisäaineena joustavuuden parantamiseksi jäykissä Schönox tasotteissa korvaamalla sekoitusvettä Schönox KH pohjusteella. (schonox.fi, Schönox KH)

Antisol-E on helposti juokseva, valkoinen, vahapohjainen emulsio. Ruiskutettuna vastavalelulle pinnalle Antisol-E muodostaa nopeavaikutteisen kalvon, joka suojaa betonia liian nopealta kuivumiselta kovettumisprosessin aikana. Tällöin kutistumahal-

keamien syntyminen ja kuorimisen vaara betonin kovettuessa pienenee. (sika.fi, Antisol-E)

Mapeicure 1 on helppo ja tehokas jälkihoitoaine betonille käytettäväksi esimerkiksi lattiavaluihin, silta- ja laiturirakennuksiin, betoniteiden ja lentokenttien sekä betonipalkkien ja liukuvalujen jälkihoitoon. Tuote on parafiinivahaemulsio. Mapeicure 1 tekee betonin päälle tiiviin kalvon, joka suojaa veden liian nopealta haihtumiselta kovettumisen alkuvaiheessa. (mapei.fi, Mapeicure 1)

3.3 Aikataulu

Koekappaleet oli suunniteltu punnittavaksi tutkimuksen alussa kahdesti viikossa, jolloin tapahtuvat suurimmat veden haihtumiset. Vesimäärä vähenee betonista alussa nopeammin ja hidastuu ajan kuluessa, mikä johtuu hydrataatioreaktiosta, joka johtuu veden kemiallisesta sitoutumisesta sementtiin. Koekappaleista otettiin tulokset 1. 3. 5. 9. 12. 19. 25. 30. ja 45. vuorokauden kohdalla.

3.4 Koekappaleet

Koekappaleet valmistettiin Kymenlaakson ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriossa Lujabetoni Oy:n ohjeiden mukaisesti. Betoniksi valittiin mahdollisimman paljon vettä vaativa tuote (Fescon S100 kuivabetoni) ja siihen annosteltiin ohjeiden sallima suurin vesimäärä, jotta haihtuvaa vettä olisi mahdollisimman paljon. Koekappaleita tehtiin 12 paria, eli 12 kappaletta kooltaan 35 x 55 x 7 mm (kuva 5) ja 12 kooltaan 10,5 x 22,5 x 6,5 mm, jotka numeroitiin juoksevilla numeroinnilla yhdestä kahtentoista. Kuhunkin koekappaleeseen tehtiin ennalta suunniteltu jälkihoito.



Kuva 5. Jälkihoitoaineet ruiskutettuna koekappaleisiin (Juha Valjakka, 2014).

3.5 Olosuhteet

35 x 55 x 7 mm koekappaleet olivat tutkimuksen ajan laboratorion olosuhteissa jossa lämpötila on noin 20 °C ja ilman suhteellinen kosteus n. 30 % (± 5). 10,5 x 22,5 x 6,5 mm kappaleet olivat olosuhdekaapissa (kuva 6), jossa lämpötila 20 °C ja suhteellinen kosteus 60 %. Olosuhde kaapissa on tavanomainen olosuhde, jota käytetään betonille tehtäessä tutkimuksia.



Kuva 6. Koekappaleet olosuhdekaapissa (Juha Valjakka, 2014).

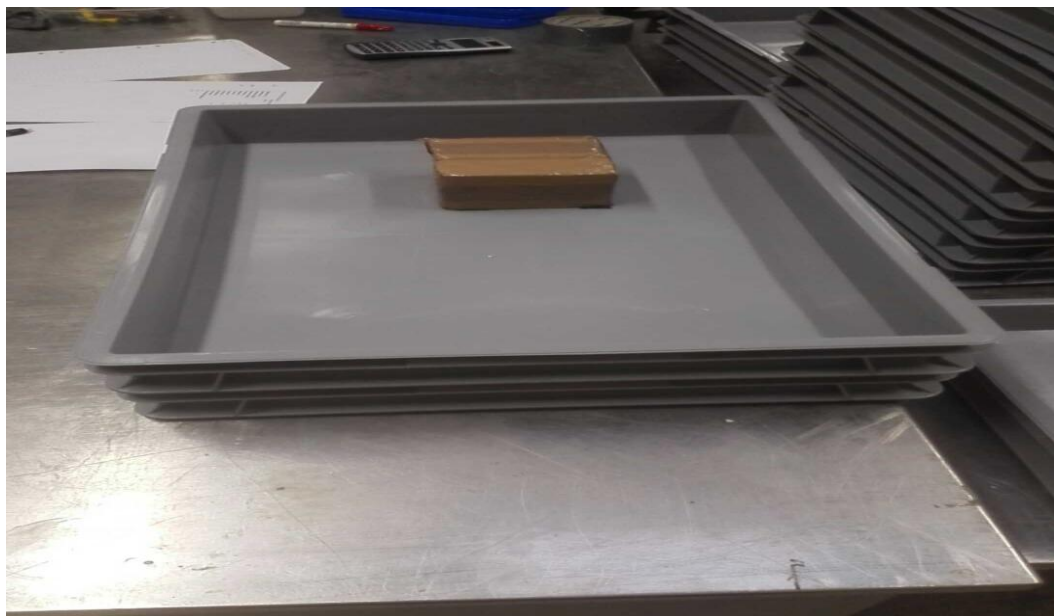
3.6 Testausmenetelmät ja tutkimuksen suoritus

Koekappaleet punnittiin rakennuslaboratorion Kern FKB-digitaalivaa'alla (Kuva 7), joka oli kalibroitu kuukausi ennen tutkimuksen aloitusta. Tutkimuksen edetessä kirjasin mittaustuloksia taulukkoon ja seurasin kuivumista kuivumisprosenttein.



Kuva 7. Kern FKB:n tarkka isotasoinen pöytävaaka (Juha Valjakka, 2014).

Kooltaan pienemmät koekappaleet olivat pinta-alaltaan noin $0,024\text{m}^2$ ja toiset koekappaleet noin $0,21\text{m}^2$. Koekappaleet valettiin n. 70 mm paksuihin muotteihin, jolloin vertailua haettiin 70mm paksuiseen maanvaraiseen laattaan. Isompiin laatikkoihin teipattiin styrox-kuutiot, koska vastaaviin betonilaattoihin syntyy useasti kutistumasta johtuvaa halkeilua, jolloin kuutiot ottavat vastaan halkeilua ja täten estävät halkeilun syntyä, kuten kuvassa 8 näkyy.

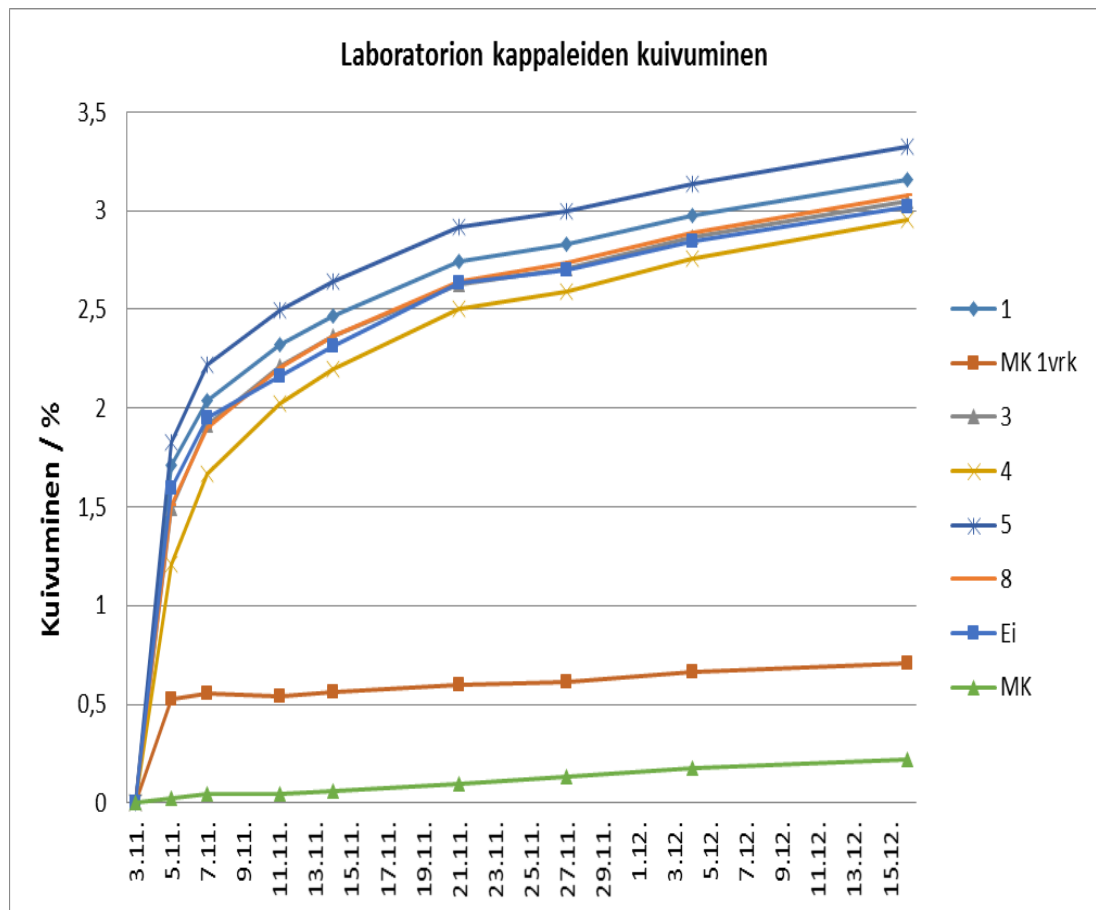


Kuva 8. Styrox-kuutio estää kutistumahalkeilua laatussa (Juha Valjakka, 2014).

Olosuhdekaappina pienille laatikoille toimi Especin vuonna 2004 valmistama kaappi, jonka mallitunnus on PR-4KP. Tässä työssä olosuhdekaapin ominaisuuksista on käytetty vain lämpötilan ja ilmankosteuden seuranta. Tutkimuksessa käytetty kosteus on RH 60 % ja lämpötila 20 °C.

4 TULOKSET JA NIIDEN ANALYYSINTI

Koekappaleiden tulokset on koottu neljään eri kuvaan, kaksi kuvaa (kuvat 9 ja 10) esittää laboratorion koekappaleiden kuivumisen ja kaksi kuvaa (kuvat 11 ja 12) olosuhdekaapin koekappaleiden kuivumisen. Kuvat jaettiin kahteen eri kuvaan, joista toisessa on vertailtu jälkihoitoaineita, joita levitettiin vain tuotteen suositeltu levitysmäärä ja toisessa on jälkihoitoaineet, joita levitettiin sekä suositeltu määrä että suositeltu ainemäärä tuplattuna. Tällöin pystymme näkemään kahden jälkihoitoaineen toimivuuden kahdella eri aineen levitysmäärällä.



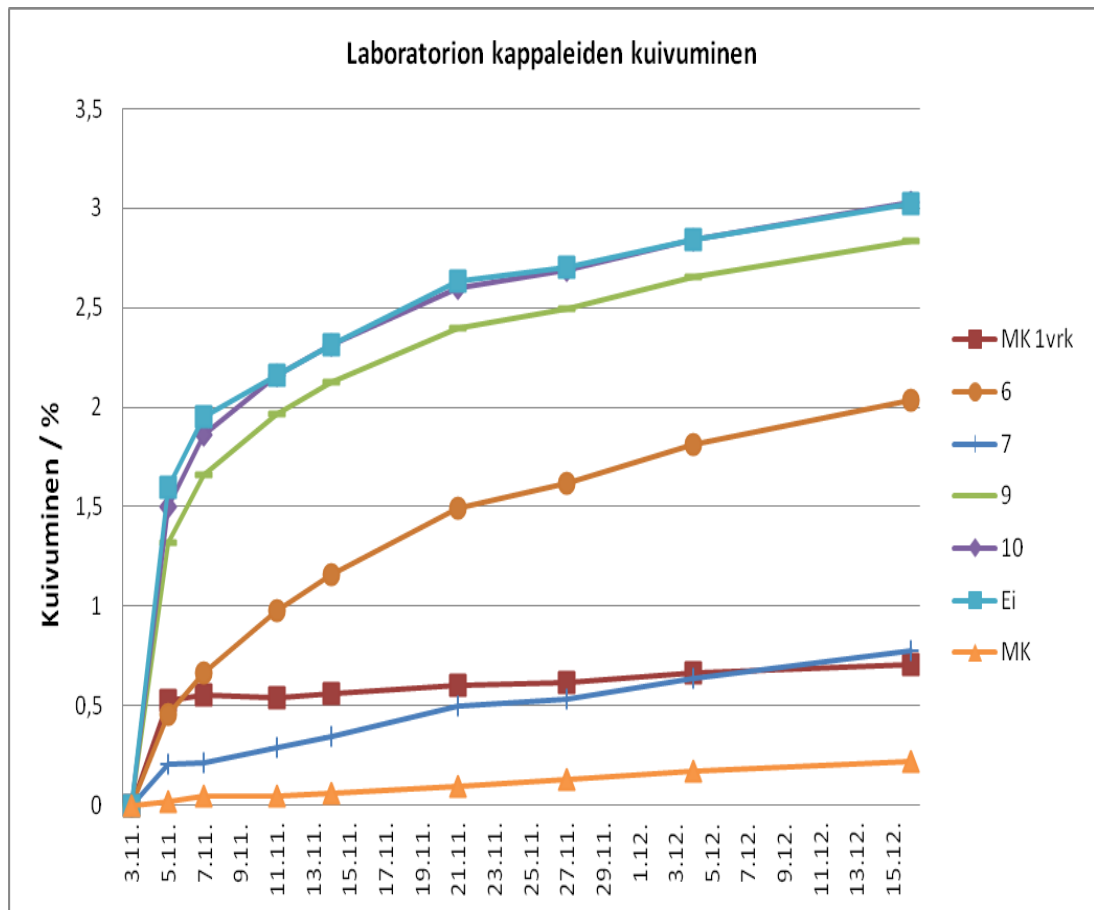
Kuva 9. Laboratorion koekappaleiden kuivuminen

Kuvassa 9 on kuvattu laboratorion koekappaleiden kuivumista 45 vuorokauden ajalta. Numeroidut koekappaleet ovat jälkihoitoaineilla jälkihoidettuja.

Muovikalvolla suojatun koekappaleen (MK) kuivuminen oli minimaalista koko tutkimuksen ajan. Kuivuminen oli ensimmäisenä mittauspäivänä 0,022 % ja tutkimuksen lopussa 0,221 %. Tähän tulokseen verrataan muiden koekappaleiden kuivumista.

Koekappale, johon muovikalvo asennettiin yhden vuorokauden kuluttua valusta (MK 1 vrk), ennätti kuivua ilman jälkihoitoa yhden vuorokauden ajan, jolloin betonissa ehti tapahtua varhaisvaiheen kutistumaa vapaasti, koska jälkihoito aloitettiin vasta vuorokauden kuluttua. Kuivumisprosentiksi tuli ensimmäisenä mittauspäivänä 0,524 %, ja kalvon asentamisen jälkeen se kuivui samalla tavalla kuten muovikalvoinen (MK) ja lopullinen kuivuminen oli 0,707 %.

Koekappaleiden 1, 3, 4, 5, 8 ja ei-jälkihoidetun kappaleen (Ei) kuivuminen oli samankaltainen tutkimuksen alusta loppuun saakka. Ensimmäiseen mittauspäivään mennessä kappaleiden kuivuminen oli 1,205 – 1,828 % välillä, korkein kuivuminen oli koekappaleella 5 ja alhaisin kappaleella 4. Huomiota herättävää on se, että jälkihoidettujen kappaleiden 1, 5 ja 8 kuivuminen oli suurempaa kuin ei-jälkihoidetun. Jälkihoitoaineet 3 ja 4 eivät myöskään tavoittaneet sellaista kuivumista mitä muovikalvoin päällystetyt kappaleet saavuttivat (MK ja MK, 1 vrk). Syitä kyseisten jälkihoitoaineiden heikkoon toimivuuteen voivat olla, että aine ei sopeudu tutkimuksen olosuhteisiin, ilman kosteuden, betonin lujuusluokkaan, vesipitoisuuteen tai rakenteen paksuuteen. Jälkihoitoaineiden 1, 3, 5 tuotetiedoissa kerrottiin, että toimivuutta pystytään parantamaan jatkamalla ainetta veden kanssa oikeassa suhteessa. Oikeaan suhteeseen vaikuttaa olosuhde, jossa betonointi tapahtuu, mutta tuotteiden ohjeissa ei kuitenkaan suoraan mainittu olosuhteita ja vesiainesuhteita. Kyseisten jälkihoitoaineiden toimivuuteen tässä tutkimuksessa ovat oletettavasti vaikuttaneet työtekniset suoritukset.



Kuva 10. Laboratorion koekappaleiden kuivuminen

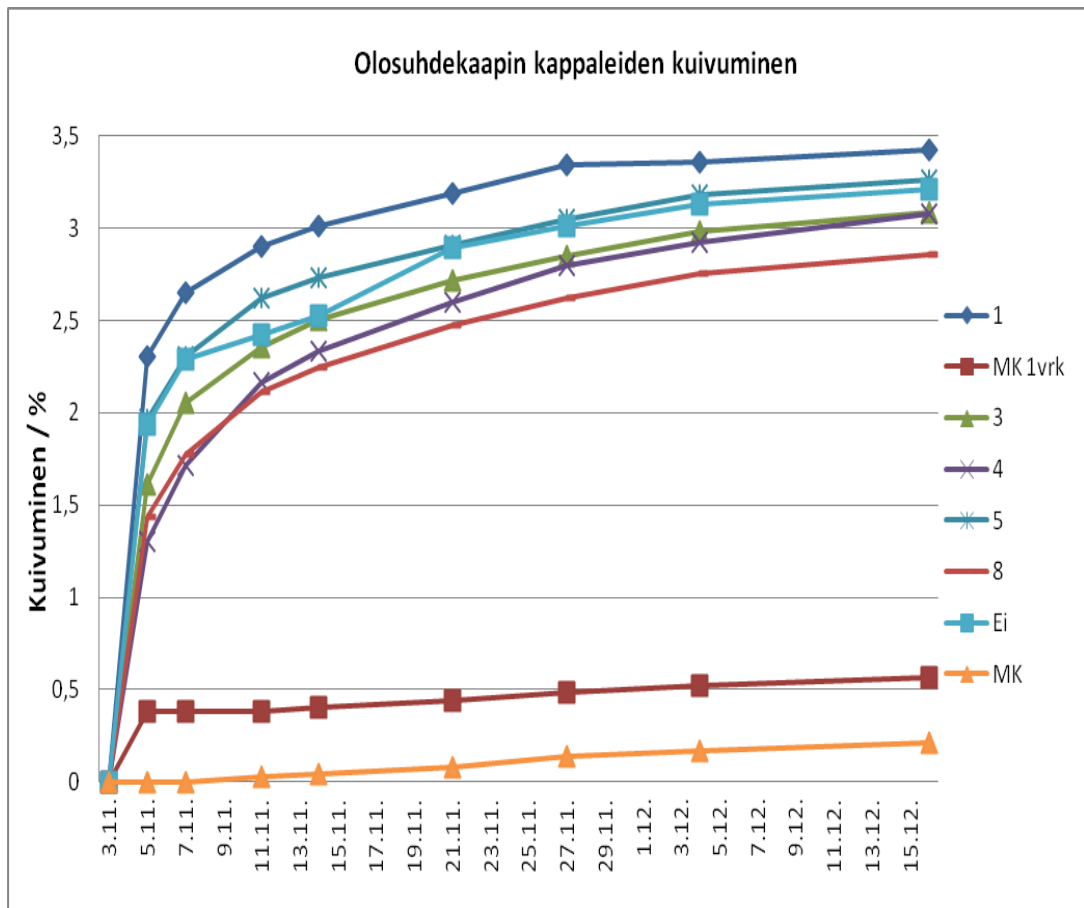
Kuvassa 10 on kuvattu koekappaleiden 6,7,9 ja 10 kuivumista. Vertailuna on muovikalvollinen (MK), yhden vuorokauden kuluttua asennettu muovikalvo (MK1vrk) ja ei-jälkihoidettu (Ei) koekappale.

Koekappaleen 6 ja yhden vuorokauden iässä asennetun muovikalvon kuivuminen oli kahden vuorokauden iässä lähes identtinen. Tämä johtuu tosin siitä, että muovikalvollinen ehti kuivua yhden vuorokauden ajan ilman jälkihoitoa ennen muovikalvon asentamista, minkä jälkeen kuivuminen pysähtyi lähes täysin. Kappale 6 jatkoi kuivumistaan tasaisesti tutkimuksen loppuun saakka; kuivumisprosentti oli tutkimuksen lopussa 2,032 %.

Koekappaleen 7 jälkihoito tehtiin samalla aineella kuin kappaleen 6, mutta aineen levitysmäärä kaksinkertaistettiin. Kappaleen 7 kuivuminen oli kolme kertaa pienempi kuin kappaleen 6. Tällä levitysmäärällä kyseinen jälkihoitoaine toimii laboratorionolosuhteissa mainiosti. Kuivuminen oli ensimmäisenä mittauspäivänä 0,207 % ja tutkimuksen lopussa 0,775 %. Tämä koekappale saavutti parhaimman kuivumistuloksen heti muovikalvollisten (MK ja MK1vrk) koekappaleiden jälkeen.

Koekappaleet 9 ja 10 olivat samaa jälkihoitoainetta, mutta koekappaleen 9 jälkihoitoainemäärä oli tuplattu koekappaleeseen 10 nähden. Kyseisen jälkihoitoaineen levitysmäärällä ei saatu merkittäviä eroja toimivuuden suhteen. Koekappaleen 9 kuivuminen oli jokaisella mittauksella n. 0,2 % vähemmän kuin kappaleen 10. Ei-jälkihoidettu (Ei) sekä koekappale 10 kuivuivat lähestulkoon samaa viivaa pitkin koko tutkimuksen ajan. Syitä kyseisen jälkihoitoaineen heikohkoon toimivuuteen voivat olla, että aine ei sopeudu tutkimuksen olosuhteisiin, ilman kosteuteen, betonin lujuusluokkaan, vesipitoisuuteen tai rakenteen paksuuteen.

Välittömästi valun jälkeen asennettu muovikalvo oli tutkimuksen parhaiten toimiva, koska kun muovikalvo asennetaan kauttaaltaan tiiviisti, niin veden on hyvin vaikea haihtua kappaleesta kokonaan pois, vaan vesi tiivistyy muovin sisäpintaan.

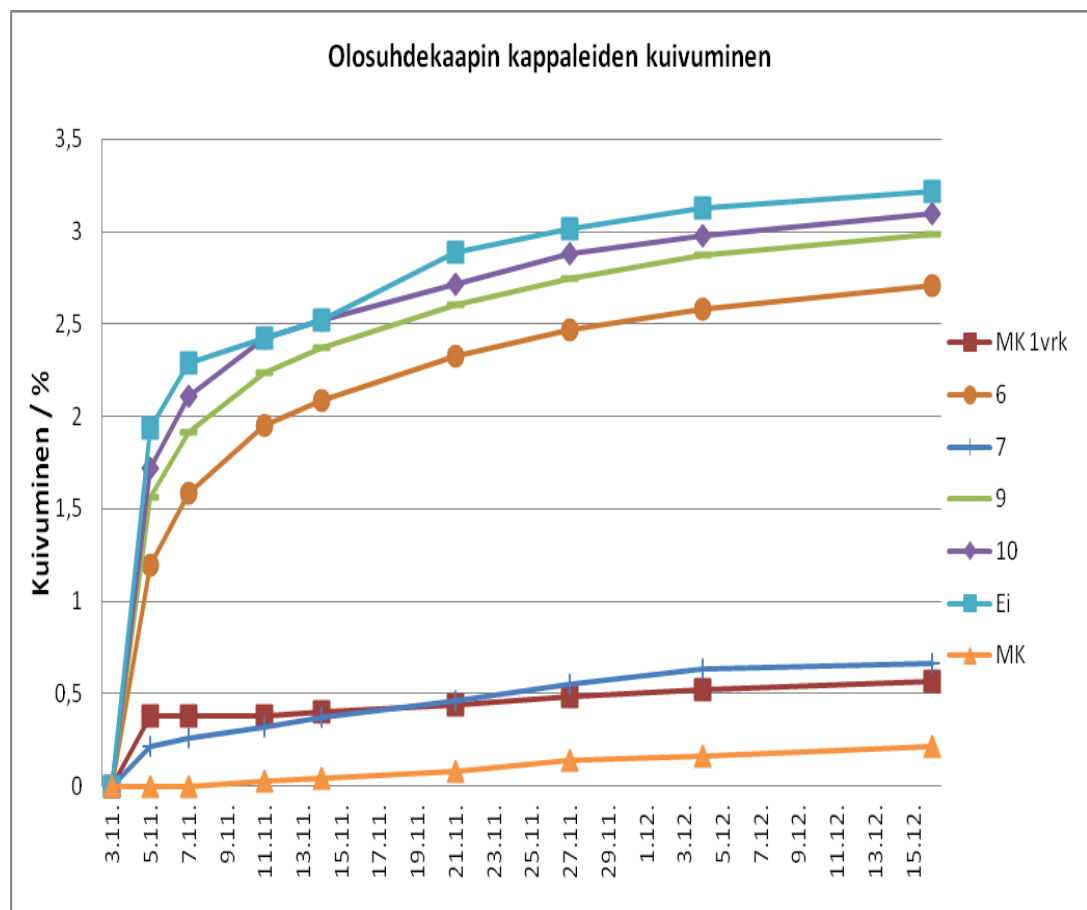


Kuva 11. Olosuhdekaapin kappaleiden kuivuminen

Kuvassa 11 on kuvattu olosuhdekaapissa olleiden koekappaleiden kuivumista 45 vuorokauden ajalta. Numeroidut koekappaleet ovat jälkihoitoaineilla jälkihoidettuja.

Koekappaleiden 1, 3, 4, 5, 8 ja ei-jälkihoitettun (Ei) kuivuminen olosuhdekaapissa oli hyvin samankaltaista kuin laboratorion olosuhteissa olleiden kappaleiden. Kappaleiden kuivuminen oli ensimmäisellä mittauksella 1,305 – 2,308 % välillä. Ainoastaan koekappaleen 1 kuivuminen olosuhdekaapissa oli huomattavasti suurempi kuin laboratorion olosuhteissa olleen vastaavan koekappaleen, olosuhdekaapin koekappale kuivui n. 0,6 % enemmän. Muiden koekappaleiden erot laboratorion ja olosuhdekaapin olosuhteitten kesken olivat vain n. 0,1 %. Johtopäätöksenä voidaan sanoa, että koekappaleessa 1 käytetyn jälkihoitoaineen toimivuus heikkenee korkeammassa ilman suhteellisessa kosteudessa.

Koekappaleet 1 ja 5 kuivuivat myös olosuhdekaapin olosuhteissa enemmän kuin ei-jälkihoitettu (Ei) koekappale. Syitä ovat jokin aiemmin mainitsemani syy, joita olivat jälkihoitoaineen toimivuuden vaihtelu riippuen olosuhteista, ilman kosteudesta, betonin lujuusluokasta, vesipitoisuudesta tai rakenteen paksuudesta.



Kuva 12. Olosuhdekaapin kappaleiden kuivuminen

Koekappaleen 6 kuivuminen poikkesi laboratorion vastaavan koekappaleen kuivumisesta. Olosuhdekaapissa koekappaleen 6 kuivuminen oli tutkimuksen alussa 1,193 %

ja lopussa 2,707 %, kun taas laboratorion vastaavat arvot olivat tutkimuksen alussa 0,458 % ja lopussa 2,032 %. Kuivumisen ero kappaleiden kesken oli ensimmäisellä mittauksella siis yli kaksinkertainen laboratoriossa olleen kappaleen hyväksi. Eroavaisuudesta voidaan todeta, että kyseinen jälkihoitoaine ja tuoteohjeiden suosittelema levitetty ainemäärä heikentävät toimivuutta huomattavasti olosuhdekaapin korkeammassa ilman kosteudessa. Olosuhdekaapin koekappale 7 kuivui lähes identtisellä käyrällä kuin laboratorion koekappale 7. Suositulla jälkihoitoainemäärällä kuivuminen oli huomattavasti suurempaa olosuhdekaapissa ja suuremmalla ainemäärällä kuivumiset olivat molemmissa olosuhteissa samanlaiset. Tästä voidaan päätellä, että kyseinen jälkihoitoaine ja levitetty jälkihoitoainemäärä vaikuttavat erittäin paljon aineen toimivuuteen olosuhteesta riippuen.

Koekappaleet 9 ja 10 kuivuivat olosuhdekaapissa lähes identtisesti laboratorion vastaaviin koekappaleisiin verrattuna. Molempien olosuhdekaapissa olleiden kappaleiden kuivuminen oli tutkimuksen ajan noin 0,2 % pienempää kuin laboratorion koekappaleiden. Tästä voidaan päätellä, että kyseisellä jälkihoitoaineella ja suuremmalla levitetyllä ainemäärällä ei saada tutkituissa olosuhteissa vastaavia suuria eroja toimivuuden suhteen toisin kuin koekappaleilla 6 ja 7 sitä saatiin.

Ja kuten jo aiemmin mainitsin, niin välittömästi valun jälkeen tiiviisti asennettu muovikalvo on parhain mahdollinen jälkihoitomenetelmä; tosin suurempia lattioita valettaessa vastaavat tiiviit muovikalvolla peittämiset ovat lähes poikkeuksetta mahdottomia asentaa kauttaaltaan lattian päälle. Pienissä kylpyhuoneen lattiavaluissa se saattaisi vielä onnistua ilman muovin saumojen liimailua.

5 POHDINTA

Teoriaosuuden aineistoa löytyi hyvin betonin jälkihoidosta, sekä tarkemmin betonilattian jälkihoidosta, vaikkakin jälkihoidon teoria-aineistot olivat poikkeuksetta suppeita. Aineistot myös toistivat paljon toinen toistaan; suurilta osin aineistot olivat Suomen Betonilattiayhdistyksen materiaalista koottuja teoriakokonaisuuksia. Vastaavia tutkimuksia on aiemmin tehty, jolloin on myös todettu jälkihoitoaineiden tehokkuuksissa isoja eroja (kivitalo.fi).

Kaikin puolin kyseessä on äärimmäisen herkkä laji. Mielestäni vastaava tutkimus pitäisi tehdä paljon suuremmalla skaalalla, jossa tutkittaisiin paremmin jälkihoitoainei-

siin vaikuttavia seikkoja, joita siis ovat betonointi olosuhteet, ilman kosteus, millainen betoni kyseessä (betonin lujuusluokka, betonin vesipitoisuus), sekä jälkihoidettavan betonin paksuus.

Tutkimuksesta saatiin käsitys tutkimuksessa käytettyjen jälkihoitoaineiden toimivuus Fescon S-100 kuivabetoniin kahdenlaisessa olosuhteessa, jotka olivat laboratorion ja olosuhdekaapin olosuhde. Toivon, että tekemästäni tutkimuksesta on hyötyä toimek-siantajayritykselle. Uskon myös, että aiheesta tullaan tekemään tarkempi tutkimus lähitulevaisuudessa.

LÄHTEET

Betonilattiat 2002 BY 45 / BLY 7 Suomen Betoniyhdistys ry

Betonilattiat 2014 BY 45 / BLY 7 Suomen Betoniyhdistys ry

Betonitekniiikan oppikirja 2004 BY 201 Suomen Betoniyhdistys ry

Betoni.com: Paikallavalurakentaminen. Betonityöt. Jälkihoito.

<http://www.betoni.com/paikallavalurakentaminen/betonityot/jalkihoito> [15.01.2015]

Lujabetoni, Betonin jälkihoito

Suomen Betonilattaiyhdistys ry jälkihoito-ohje BLY-3

Betoni 3/2000, Tekn. tri M. Leivo

Anttila, V. 2010. Betonin kutistuma ja sen huomioiminen. Rudus Oy:n asiakastiedote 1/2010.

www.basf-cc.fi, MASTERTOP C711

www.master-builders-solutions.basf.fi, MasterKure 220 WB

www.master-builders-solutions.basf.fi, MasterKure 216 WB

www.master-builders-solutions.basf.fi, Masterkure 112

www.schonox.fi, Schönox KH

www.sika.fi, Antisol-E

www.mapei.fi, Mapeicure 1

Mittau tulokset

Laboratorion koekappaleet

	1	MK1vrk	3	4	5	6	7	8	9	10	Ei	MK
3.11.	30600,0	30375,7	31292,8	31070,4	31681,4	30175,0	31273,7	30032,3	31357,4	31547,4	31053,0	30118,8
5.11.	30077,1	30216,5	30825,8	30696,9	31103,3	30037,1	31209,0	29579,5	30944,5	31074,0	30557,0	30112,2
7.11.	29977,1	30207,0	30693,8	30554,5	30979,3	29974,6	31207,5	29463,0	30838,1	30960,2	30447,7	30105,2
11.11.	29891,4	30211,3	30602,0	30442,6	30892,2	29880,0	31183,7	29371,7	30742,2	30867,0	30366,2	30105,2
14.11.	29847,2	30205,0	30554,3	30390,1	30845,0	29825,5	31165,2	29323,7	30692,7	30818,5	30320,2	30100,6
21.11.	29762,0	30193,4	30472,8	30294,0	30758,4	29724,2	31117,5	29240,1	30606,7	30727,9	30235,7	30090,1
27.11.	29735,7	30188,5	30446,5	30266,9	30733,7	29686,7	31107,8	29212,7	30577,0	30700,9	30213,8	30079,6
5.12.	29690,9	30174,6	30397,8	30215,8	30688,4	29629,7	31075,4	29165,3	30527,0	30650,8	30169,5	30066,5
16.12.	29636,0	30161,0	30340,6	30154,3	30629,5	29562,6	31032,1	29108,9	30469,3	30593,2	30114,9	30052,2
27.1.	29484,5	30104,7	30186,7	29991,5	30473,7	29392,3	30892,8	28957,3	30311,5	30434,3	29972,8	29996,8

Olosuhdekaapin koekappaleet

	1	MK1vrk	3	4	5	6	7	8	9	10	Ei	MK
3.11.	3062,9	3065,2	3156,6	2954,2	3097,9	3113,5	3088,5	3111,2	3065,4	3165,0	3068,0	3157,0
5.11.	2992,3	3053,6	3105,8	2915,8	3037,1	3076,4	3081,9	3066,7	3017,6	3101,7	3008,6	3157,0
7.11.	2981,7	3053,6	3091,9	2903,8	3026,5	3064,3	3080,6	3056,1	3006,8	3089,4	2997,7	3157,0
11.11.	2974,2	3053,5	3082,4	2890,4	3016,9	3052,8	3078,7	3045,7	2996,9	3079,6	2989,4	3156,1
14.11.	2970,7	3052,8	3077,8	2885,6	3013,5	3048,6	3077,0	3041,5	2992,9	3076,4	2985,5	3155,6
21.11.	2965,4	3051,7	3070,9	2877,7	3007,9	3041,2	3074,2	3034,4	2985,7	3070,3	2979,3	3154,6
27.11.	2960,7	3050,3	3066,8	2871,8	3003,5	3036,7	3071,6	3029,8	2981,3	3065,2	2975,5	3152,7
5.12.	2960,2	3049,2	3062,5	2868,1	2999,5	3033,2	3069,0	3025,7	2977,4	3062,1	2972,0	3151,8
16.12.	2958,1	3047,9	3059,4	2863,7	2996,9	3029,3	3068,1	3022,5	2974,1	3058,4	2969,4	3150,2
27.1.	2951,8	3043,8	3053,1	2856,7	2991,4	3022,8	3062,2	3016,2	2967,6	3052,2	2964,1	3146,2

Kuivumiset (g)

Laboratorion koekappaleet

	5.11.	7.11.	11.11.	14.11.	21.11.	27.11.	4.12.	16.12.	27.1.
1	522,9	622,9	708,6	752,8	838,0	864,3	909,1	964,0	1115,5
MK1vrk	159,2	168,7	164,4	170,7	182,3	187,2	201,1	214,7	271,0
3	467,0	599,0	690,8	738,5	820,0	846,3	895,0	952,2	1106,1
4	373,5	515,9	627,8	680,3	776,4	803,5	854,6	916,1	1078,9
5	578,1	702,1	789,2	836,4	923,0	947,7	993,0	1051,9	1207,7
6	137,9	200,4	295,0	349,5	450,8	488,3	545,3	612,4	782,7
7	64,7	66,2	90,0	108,5	156,2	165,9	198,3	241,6	380,9
8	452,8	569,3	660,6	708,6	792,2	819,6	867,0	923,4	1075,0
9	412,9	519,3	615,2	664,7	750,7	780,4	830,4	888,1	1045,9
10	473,4	587,2	680,4	728,9	819,5	846,5	896,6	954,2	1113,1
Ei	496,0	605,3	686,8	732,8	817,3	839,2	883,5	938,1	1080,2
MK	6,6	13,6	13,6	18,2	28,7	39,2	52,3	66,6	122,0

Olosuhdekaapin koekappaleet

	5.11.	7.11.	11.11.	14.11.	21.11.	27.11.	4.12.	16.12.	27.1.
1	70,6	81,2	88,7	92,2	97,5	102,2	102,7	104,8	111,1
MK1vrk	11,6	11,6	11,7	12,4	13,5	14,9	16,0	17,3	21,4
3	50,8	64,7	74,2	78,8	85,7	89,8	94,1	97,2	103,5
4	38,4	50,4	63,8	68,6	76,5	82,4	86,1	90,5	97,5
5	60,8	71,4	81,0	84,4	90,0	94,4	98,4	101,0	106,5
6	37,1	49,2	60,7	64,9	72,3	76,8	80,3	84,2	90,7
7	6,6	7,9	9,8	11,5	14,3	16,9	19,5	20,4	26,3
8	44,5	55,1	65,5	69,7	76,8	81,4	85,5	88,7	95,0
9	47,8	58,6	68,5	72,5	79,7	84,1	88,0	91,3	97,8
10	54,3	66,6	76,4	79,6	85,7	90,8	93,9	97,6	103,8
Ei	59,4	70,3	78,6	82,5	88,7	92,5	96,0	98,6	103,9
MK	0,0	0,0	0,9	1,4	2,4	4,3	5,2	6,8	10,8

Kuivumiset (kg/m²)

Laboratorion koekappaleet

	5.11.	7.11.	11.11.	14.11.	21.11.	27.11.	4.12.	16.12.	27.1.
1	2,50	2,98	3,39	3,60	4,01	4,14	4,35	4,61	5,34
MK1vrk	0,76	0,81	0,79	0,82	0,87	0,90	0,96	1,03	1,30
3	2,23	2,87	3,31	3,53	3,92	4,05	4,28	4,56	5,29
4	1,79	2,47	3,00	3,26	3,71	3,84	4,09	4,38	5,16
5	2,77	3,36	3,78	4,00	4,42	4,53	4,75	5,03	5,78
6	0,66	0,96	1,41	1,67	2,16	2,34	2,61	2,93	3,74
7	0,31	0,32	0,43	0,52	0,75	0,79	0,95	1,16	1,82
8	2,17	2,72	3,16	3,39	3,79	3,92	4,15	4,42	5,14
9	1,98	2,48	2,94	3,18	3,59	3,73	3,97	4,25	5,00
10	2,27	2,81	3,26	3,49	3,92	4,05	4,29	4,57	5,33
Ei	2,37	2,90	3,29	3,51	3,91	4,02	4,23	4,49	5,17
MK	0,03	0,07	0,07	0,09	0,14	0,19	0,25	0,32	0,58

Olosuhdekaapin koekappaleet

	5.11.	7.11.	11.11.	14.11.	21.11.	27.11.	4.12.	16.12.	27.1.
1	2,99	3,44	3,76	3,91	4,13	4,33	4,35	4,44	4,71
MK1vrk	0,49	0,49	0,50	0,53	0,57	0,63	0,68	0,73	0,91
3	2,15	2,74	3,14	3,34	3,63	3,81	3,99	4,12	4,39
4	1,63	2,14	2,70	2,91	3,24	3,49	3,65	3,83	4,13
5	2,58	3,03	3,43	3,58	3,81	4,00	4,17	4,28	4,51
6	1,57	2,08	2,57	2,75	3,06	3,25	3,40	3,57	3,84
7	0,28	0,33	0,42	0,49	0,61	0,72	0,83	0,86	1,11
8	1,89	2,33	2,78	2,95	3,25	3,45	3,62	3,76	4,03
9	2,03	2,48	2,90	3,07	3,38	3,56	3,73	3,87	4,14
10	2,30	2,82	3,24	3,37	3,63	3,85	3,98	4,14	4,40
Ei	2,52	2,98	3,33	3,50	3,76	3,92	4,07	4,18	4,40
MK	0,00	0,00	0,04	0,06	0,10	0,18	0,22	0,29	0,46